

Rete: livello fisico e collegamento dati

Indice

1. Livello fisico
 - 1.1 Definizioni
 - 1.2 Rete telefonica pubblica commutata
 - 1.3 Altre tipologie di rete
2. Livello del collegamento dati
 - 2.1 Servizi
 - 2.2 Protocolli
3. PPP

Rete: livello fisico

Definizioni - 1

- **Baud**: velocità del segnale (numero di cambiamenti possibili in 1 s.)
 - Il valore assunto dal segnale (la sua codifica) determina il numero di *bit* trasmessi per 1 s.
 - Segnale 0/1 → 1 *bit* → **baud** = *bit rate*
 - Segnale 0..7 → 3 *bit* → *bit rate* = 3 **baud**
 - Dato un **baud** b, l'invio di N *bit* richiede N/b s.
- **Decibel**: $10 \log_{10}$ volte il rapporto tra la potenza del segnale S e quella del disturbo N
 - $S/N = 10 \rightarrow 10 \text{ dB}$; $S/N = 1000 \rightarrow 30 \text{ dB}$
- **Teorema di Shannon**: la massima capacità di un canale dati disturbato è $\phi \log_2 (1+S/N)$ bps
 - Con ϕ frequenza trasmittiva (banda) del canale
 - $\phi = 3 \text{ kHz}$; $30 \text{ dB} \rightarrow \sim 30 \text{ kbps}$

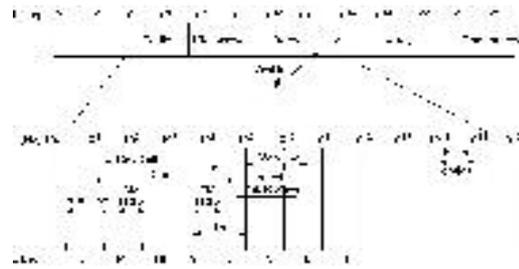
Rete: livello fisico

Definizioni - 2

- **Twisted pair (TP)**: due sottili fili di rame isolati legati in configurazione ad elica (*twisted*) per ottenere minima interferenza
 - Tipica applicazione: linee telefoniche
- **Cavo coassiale**: anima di rame avvolta in materiale isolante
 - Banda larga (analogico), amplificato, 2 cavi paralleli per bidirezionalità
- **Fibra ottica**: una sorgente che emette luce, fibra vetro come veicolo trasmissivo, un detettore
 - Singola fibra per singolo (flusso di) *bit*
- **Senza fili (wireless)**: diffusione (*broadcast*) di onde elettromagnetiche

Rete: livello fisico

Lo spettro elettromagnetico



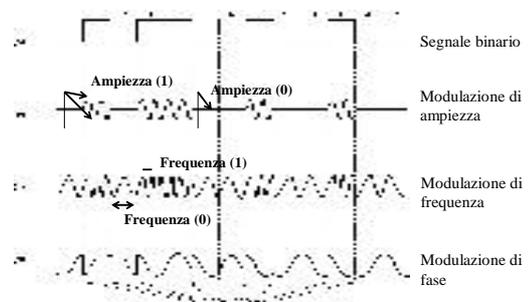
Rete: livello fisico

Rete telefonica pubblica commutata - 1

- Consiste di 3 componenti
 - Ramo locale (*local loop*), connessione TP, analogica, tra terminale utente e nodo locale
 - Immissione/ricezione mediante dispositivo di modulazione / demodulazione, **modem** (digitale ↔ analogico)
 - La modulazione (di ampiezza, AM; di frequenza, FM; di fase) consente di trasmettere più *bit* per **baud**



Esempi di modulazione



Rete: livello fisico

Rete telefonica pubblica commutata - 2

- 2° componente (segue)
 - Connessione a pagamento (*toll connecting trunk*) digitale tra nodo locale e nodo centrale (*toll office*) con registrazione dei costi
 - Centrali organizzate gerarchicamente per ampiezza crescente di area controllata
 - La medesima linea portante (*trunk*) viene usata (*multiplexed*) per più conversazioni simultanee
 - A divisione di frequenza (FDM), tecnologia analogica
 - A divisione di tempo (TDM), ricava dal segnale analogico codici numerici ad 8 bit campionati a 125 µs → **codec**
 - La trama (*frame*) ottenuta su singolo periodo è suddivisa in 24 canali da 8 bit (7 dati, 1 controllo) ciascuno → $7 \times 8000 = 56$ kbps per canale

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 288

Esempio di commutazione a divisione di tempo

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 289

Rete: livello fisico

Rete telefonica pubblica commutata - 3

- 3° componente (segue)
 - Centrali di smistamento (*switching office*) collegate tra loro e con nodi centrali da linee a banda molto larga
 - Una connessione fissa per ogni comunicazione (*circuit switching*)
 - Più comunicazioni per una stessa connessione fissa, (*packet switching*) in modalità *store and-forward*
 - Pacchetti a dimensione fissa → più facile dimensionare la memoria dei *router*
 - Smistamento a *matrice completa (crossbar) N×N*: troppe connessioni fisiche; non scala
 - Smistamento multi-livello a divisione di spazio: meno connessioni fisiche; massimo numero di comunicazioni simultanee determinato dalle connessioni dei livelli interni
 - Esempio: 3 livelli : $N/n (n \times k) \rightarrow k (N/n \times N/n) \rightarrow (k \times n) N/n$
 - Smistamento a divisione di tempo: permutazione della frazione di informazione periodica di canale (*time slot*) di ogni trama ordinata (*frame*) di ingresso → canale in ingresso connesso a canale di uscita

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 290

Rete: livello fisico

Altre tipologie di rete

- Esistono svariate altre modalità di connessione tra i nodi di una rete di elaboratori
 - Rete mobile terrestre (p.es.: GSM, *Global System for Mobile Communications*)
 - Reti satellitari
 - Reti via cavo, con condivisione del canale tra TV, radio e dati
- Schemi complessi di condivisione, prevalentemente basati su TDM

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 291

Rete: livello del collegamento dati

Servizi - 1

- Il ruolo di questo livello è veicolare sul livello fisico, nella forma da questi attesa, le unità informative ricevute dal livello superiore e di correggere gli eventuali errori di trasmissione
 - Il livello fisico non offre garanzie di consegna e tantomeno di consegna corretta
 - La soluzione è inviare segmenti delimitati (*frame*) sui quali si possa effettuare verifica di correttezza
 - Prefissato con # di caratteri che lo compongono
 - Delimitato da simboli noti e separatori
 - Usando ridondanza eventualmente fornita dal livello fisico

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 292

Rete: livello del collegamento dati

Servizi - 2

- 3 tipologie di servizio offerte al livello di rete
 - Trasmissione senza connessione e senza conferma
 - Il nodo mittente invia *frame* indipendenti su percorsi non prestabiliti, senza aspettare conferma di ricezione
 - Velocità più importante di qualità
 - Senza connessione con conferma
 - Come sopra, con conferma di ricezione per ciascun *frame*
 - La conferma a questo livello è più veloce e meno onerosa che ai livelli superiori
 - Con connessione e con conferma
 - La connessione è ottenuta assegnando un ordinamento ai *frame* e preservandolo nella trasmissione
 - Massima affidabilità, massimo costo

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 293

Rete: livello del collegamento dati Servizi - 3

- Trattamento degli errori di trasmissione (1/2)
 - Codice di correzione (di Hamming, 1915-98)
 - C (codeword) = D (dati) + P (parità)
 - C, D, P numero di *bit* usati per i rispettivi campi
 - Parità pari : il numero di 1 in C è pari
 - Parità dispari : il numero di 1 in C è dispari
 - Ciascuna delle 2D configurazioni legali ha C configurazioni illegali che differiscono da lei per 1 solo *bit* (distanza)
 - Ciò richiede $C+1$ configurazioni rappresentabili su C , da cui segue $(C+1) \times 2^D \leq 2^C \rightarrow D+P+1 \leq 2^D$ (dato D si conosce P_{max})
 - La distanza di Hamming è quella minima per passare da una configurazione legale ad un'altra
 - Distanza $P=d+1$ rileva errori di cardinalità d
 - Andare da una configurazione legale ad un'altra richiede più di d errori
 - Distanza $P=2d+1$ corregge fino a d errori

Legale	Illegale
0000	0001
0011	0010
0101	0100
0110	0111
1001	1000
1010	1011
1100	1101
1111	1110

$D=3, P=1$
 parità pari
 distanza di Hamming=2
 solo rilevazione

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 294

Rete: livello del collegamento dati Servizi - 4

- Trattamento degli errori di trasmissione (2/2)
 - Codice di rilevazione
 - Nel caso in cui il rapporto D/C sia troppo oneroso si usa un metodo alternativo, detto CRC (*cyclic redundancy code*)
 - Aggiunge un codice di controllo (*checksum*) all'unità dati in uscita
 - Un *checksum* ampio k *bit* è calcolato come il resto della divisione, in aritmetica a modulo 2, di un polinomio noto di grado k per gli m *bit* dell'unità dati estesa a dx di k *bit* posti a 0
 - Il polinomio noto, detto *generatore*, è rappresentato come una stringa di $k+1$ *bit* visti, da sx a dx , come i suoi coefficienti
 - Il valore $D+C$ ricevuto diviso per G ha 1 per ogni *bit* invertito
 - Esempio di polinomio standard di grado 16 ($C = 16$ *bit*)
 - $CRC-16 = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1 \rightarrow 11000000000000101$

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 295

Rete: livello del collegamento dati Protocolli - 1

- Problemi da risolvere
 - Bilanciamento dei flussi e delle capacità dei livelli adiacenti (rete, fisico)
 - Per non "inondarne" alcuno e per limitare il bisogno di memoria temporanea
 - Supporto di traffico bi-direzionale (*full-duplex*)
 - Ogni nodo può essere simultaneamente mittente e destinatario
 - Gestione degli errori e delle conferme di ricezione
 - Arrivi ritardati e/o mancati
 - Interlacciamento (*interleaving*) ottimale nell'invio di trame (*frame*) dati e trame di controllo

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 296

Rete: livello del collegamento dati Protocolli - 2

- SWP**: finestra scorrevole (*sliding windows*)
 - La stessa connessione fisica per l'invio dei dati (*forward*) e delle conferme di ricezione (*reverse*)
 - "*Piggybacking*": conferma emessa in allegato al primo pacchetto dati che viaggia nella direzione giusta
 - Aggiunge ritardo, ma risparmia una trama
 - Il mittente che attende conferma gestisce tale ritardo
 - Ciascuna trama in uscita ha un numero d'ordine
 - Ad ogni istante, il mittente può emettere solo le trame con numero d'ordine in un intervallo (finestra) dato
 - Lo stesso vale per il destinatario

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 297

Rete: livello del collegamento dati Protocolli - 3

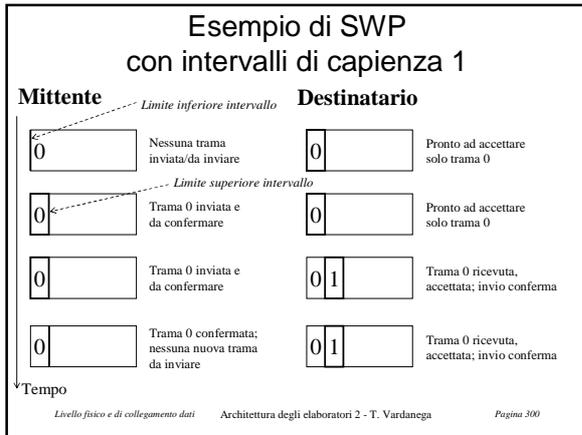
- SWP** dal lato mittente
 - L'intervallo indica il numero d'ordine delle trame consecutive inviate/da inviare, ma ancora da confermare
 - L'intervallo, inizialmente vuoto, ha capienza fissata, raggiunta la quale il protocollo blocca il mittente
 - Per ogni nuovo pacchetto arrivato dal livello rete, il numero d'ordine avanza di 1 e l'intervallo si amplia di 1 valore
 - Ad ogni conferma di ricezione, l'intervallo si riduce di $n > 1$ valori, dal suo limite inferiore fino al numero d'ordine della trama confermata
 - Ogni trama di numero d'ordine compreso nell'intervallo deve essere mantenuta in memoria fino alla conferma, in previsione di un possibile reinvio
 - Ogni trama non confermata entro un tempo limite (*time-out*) viene rimessa

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 298

Rete: livello del collegamento dati Protocolli - 4

- SWP** dal lato destinatario
 - L'intervallo, sempre di massima ampiezza, indica il numero d'ordine delle trame che possono essere accettate
 - Ogni trama in arrivo con numero d'ordine non compreso nell'intervallo viene immediatamente scartata
 - La trama con numero d'ordine più basso nell'intervallo viene accettata e passata al livello rete, si invia conferma al mittente e si sposta di 1 in avanti il limite inferiore dell'intervallo
 - Questo preserva l'ordine di invio al livello rete

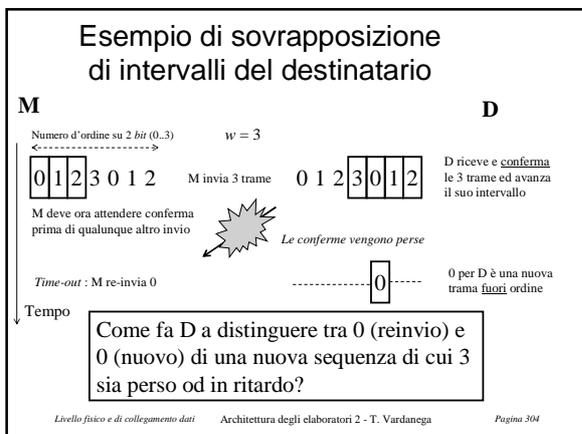
Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 299



- ### Rete: livello del collegamento dati
- #### Protocolli - 5
- **SWP** con intervalli w di capienza 1 forza la sincronizzazione tra mittente e destinatario
 - Il ritardo nell'arrivo della conferma può essere molto lungo, con conseguente emissione di inutili duplicati
 - Meglio scegliere $w > 1$ (*pipelining*), che però richiede gestione "intelligente" delle ritrasmissioni
 - **Go-back-n**: il destinatario cestina senza confermare le trame successive alla prima erronea (danneggiata o dispersa)
 - Equivalente a $w=1$ ma solo per il destinatario
 - **Selective-repeat (SRP)**: il destinatario conserva (confermando) le trame successive a quella erronea fino al re-invio da parte del mittente, dopo di che le passa al livello rete
 - Richiede molta memoria ben conservare trame
 - Ciascuna trama ha un suo specifico *time-out*
- Livello fisico e di collegamento dati* Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega *Pagina 301*

- ### Rete: livello del collegamento dati
- #### Protocolli - 6
- **SRP** dal lato destinatario
 - Conferma al mittente ed invio al livello rete di tutte le sequenze di trame buone pervenute in ordine corretto
 - L'intervallo di ricezione avanza
 - Salvataggio in memoria locale, senza conferma, di trame fuori ordine (a causa di errori o ritardi)
 - L'intervallo di ricezione non avanza
 - Le trame non confermate saranno prima o poi re-inviate dal mittente
 - Per ogni sequenza correttamente ricostituita, conferma di tutte quelle in sequenza, consegna al livello rete ed avanzamento dell'intervallo di ricezione
- Livello fisico e di collegamento dati* Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega *Pagina 302*

- ### Rete: livello del collegamento dati
- #### Protocolli - 7
- Problematiche causate da **SRP**
 - Il destinatario non può sapere se il mittente abbia correttamente ricevuto la sua conferma
 - Il mittente potrebbe non ricevere conferma e rimettere trame già accettate dal destinatario
 - Lo stesso numero d'ordine può assumere significato diverso per mittente M (= ripetizione) e destinatario D (= nuovo) se D sovrappone il suo nuovo intervallo a quello precedente
 - D deve poter distinguere tra 0_{nuovo} e $0_{ripetizione}$!
 - L'intervallo di ricezione del destinatario non deve eccedere metà del massimo numero d'ordine per poter distinguere tra trama nuova e ripetuta
- Livello fisico e di collegamento dati* Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega *Pagina 303*



- ### Rete: livello del collegamento dati
- #### PPP - 1
- **Point-to-Point Protocol**
 - Definisce una struttura di trama che ne identifica chiaramente gli estremi e consente rilevazione di errori
 - 1 trama = N byte (caratteri) per N intero (*padding di bit*)
 - Usa 2 protocolli interni per configurarsi alla connessione fisica in uso ed al tipo di livello rete sovrastante
 - **LCP (Link Control Protocol)** → connessione fisica
 - **NCP (Network CP)** → livello rete (IP od altro)
 - Consente connessioni non permanenti (*dial-up*)
 - Le prime e le ultime trame di ciascuna connessione trasportano informazioni di controllo **LCP** ed **NCP**
- Livello fisico e di collegamento dati* Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega *Pagina 305*

Rete: livello del collegamento dati PPP - 2

- **Esempio:** connessione TCP/IP, via **modem**, tra PC (nodo mittente, M) ed ISP (nodo *router*, R)
 - Selezione dei parametri di configurazione della connessione PPP tra M ed R
 - Le trame scambiate contengono informazioni **LCP** di controllo
 - Assegnazione di un indirizzo IP ad M
 - Indirizzo tra quelli disponibili ad R, assegnato solo per 1 connessione
 - Le trame scambiate contengono informazioni **NCP** di controllo per richiedere (M) e specificare (R) l'indirizzo IP
 - Fine della connessione
 - Rilascio dell'indirizzo IP → trame contenenti informazioni **NCP**
 - Rilascio della connessione fisica → trame con informazioni **LCP**

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 306

Rete: livello del collegamento dati PPP - 3

- La trama PPP è suddivisa in 6 campi
 - Delimitatore (*flag*), 2×1 B, **obbligatorio**, a contenuto fisso, posto in testa ed in coda alla trama
 - Indirizzo + Controllo
 - Modalità non numerata : $1+1$ B, entrambi a contenuto fisso
 - I nodi a livello 2 non hanno indirizzo, le trame non hanno numero di sequenza
 - Possono essere omessi da configurazione **LCP** (2 B di controllo risparmiati per trama)
 - Modalità numerata : $2 \times 1-2$ B, con identificazione di nodo
 - Le trame hanno numero di sequenza
 - Protocollo, obbligatorio
 - $1-2$ B, definiscono il **tipo** di pacchetto trasportato, inclusi **LCP** ed **NCP**, oltre ad **IP**, **AppleTalk** ed altri
 - Può essere ridotto ad 1 B da configurazione **LCP**

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 307

Rete: livello del collegamento dati PPP - 4

- La trama PPP è suddivisa in 6 campi (segue)
 - Dati (*payload*), di ampiezza variabile, con massimo fissato da configurazione **LCP**
 - Può richiedere "riempimento" (*padding*)
 - Controllo (*checksum*), $2-4$ B
 - Ampiezza fissata da configurazione **LCP**
- PPP è un "contenitore di protocolli" basati su trama
 - Si adatta a più connessioni fisiche, a diversi livelli di rete, e consente vari formati interni

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 308